

**METHOD AND APPARATUS FOR MEASURING ASPHERICAL SHAPE,
PROJECTION OPTICAL SYSTEM AND EXPOSING METHOD**

Patent Number: JP2001241929
Publication date: 2001-09-07
Inventor(s): NAKAYAMA SHIGERU
Applicant(s): NIKON CORP
Requested Patent: JP2001241929
Application Number: JP20000055690 20000301
Priority Number(s):
IPC Classification: G01B11/24; G01B9/02; G01M11/00; G03F7/20; H01L21/027
EC Classification:
Equivalents:

Abstract

PROBLEM TO BE SOLVED: To measure an aspheric surface at a high accuracy.

SOLUTION: In the aspheric shape measuring method detecting an interference fringe formed by a light reflected from a surface having an aspheric design shape (aspheric surface) under detection and a light reflected from a Fizeau surface by a detector, detecting an interference fringe formed by a light reflected from a known shaped reference surface disposed, instead of the surface under detection and the light reflected from the Fizeau surface, and obtaining the shape of the surface under detection, based on the detected both interference fringes and the shape of the reference surface, the Fizeau surface is an aspheric one in this measuring method, and the shape of at least the aspheric Fizeau surface or the reference surface is set so that the fringe spacings of the interference fringes obtained for the design shape of the surface under detection and obtained for the reference surface are greater than that of an interference fringe obtained for the surface under detection with use of a spherical Fizeau surface.

BEST AVAILABLE COPY

(19)日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号

特開2001-241929

(P2001-241929A)

(43)公開日 平成13年9月7日(2001.9.7)

(51)Int.Cl. ⁷	識別記号	FI	テマコード*(参考)
G 0 1 B 11/24		G 0 1 B 9/02	2 F 0 6 4
9/02		G 0 1 M 11/00	L 2 F 0 6 5
G 0 1 M 11/00		G 0 3 F 7/20	5 2 1 2 G 0 8 6
G 0 3 F 7/20	5 2 1	G 0 1 B 11/24	D 5 F 0 4 6
H 0 1 L 21/027			A

審査請求 未請求 請求項の数12 OL (全 12 頁) 最終頁に続く

(21)出願番号 特願2000-55690(P2000-55690)

(22)出願日 平成12年3月1日(2000.3.1)

(71)出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72)発明者 中山 繁

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

(74)代理人 100072718

弁理士 古谷 史旺 (外1名)

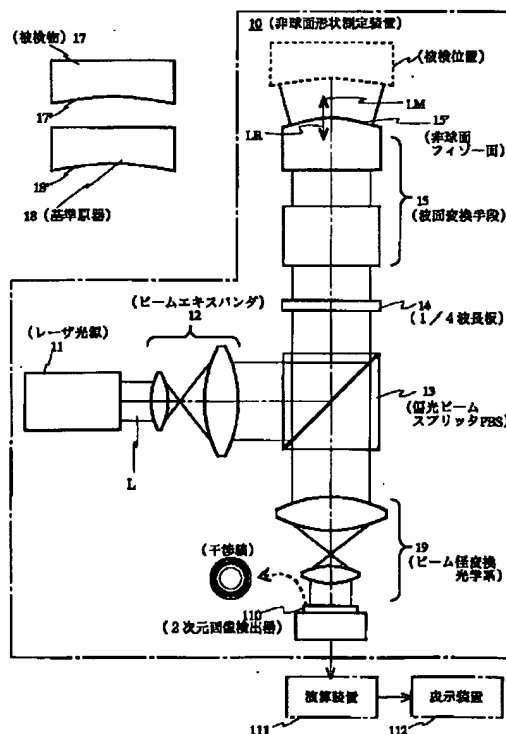
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 非球面形状測定方法、非球面形状測定装置、投影光学系、および露光方法

(57)【要約】

【課題】 本発明は、非球面の測定を高精度化させることを目的とする。

【解決手段】 検出器により、検出器により、設計形状が非球面である被検面（被検非球面）からの反射光とフィゾー面からの反射光とが成す干渉縞を検出器にて検出するとともに、その被検面に代えて配置された既知形状の基準面からの反射光と前記フィゾー面からの反射光とが成す干渉縞を検出し、検出した二つの干渉縞と前記基準面の形状とに基づいて、前記被検面の形状を求めるものである。そして、この非球面形状測定方法では、前記フィゾー面は非球面フィゾー面である。また、被検面の設計形状に対して得られる干渉縞の縞間隔と前記基準面に対して得られる干渉縞の縞間隔とが、何れも球面フィゾー面を使用した場合に前記被検面に対して得られる干渉縞の縞間隔よりも大きくなるように、少なくとも前記非球面フィゾー面又は前記基準面の形状が設定される。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 検出器により、設計形状が非球面である被検面からの反射光とフィゾー面からの反射光とが成す干渉縞を検出するとともに、前記被検面に代えて配置された既知形状の基準面からの反射光と前記フィゾー面からの反射光とが成す干渉縞を検出し、検出した二つの干渉縞と前記基準面の形状とに基づいて、前記被検面の形状を求める非球面形状測定方法において、前記フィゾー面は非球面フィゾー面であり、前記被検面の設計形状に対して得られる干渉縞の縞間隔と前記基準面に対して得られる干渉縞の縞間隔とが、何れも球面フィゾー面を使用した場合に前記被検面に対して得られる干渉縞の縞間隔よりも大きくなるように、少なくとも前記非球面フィゾー面又は前記基準面の形状が設定されることを特徴とする非球面形状測定方法。

【請求項2】 前記フィゾー面の非球面量は、前記被検面の設計形状とその近似球面との間の非球面量に設定されることを特徴とする請求項1記載の非球面形状測定方法。

【請求項3】 前記基準面の非球面量は、前記被検面の設計形状の非球面量よりも小さく設定されることを特徴とする請求項2記載の非球面形状測定方法。

【請求項4】 前記基準面の非球面量は、前記非球面フィゾー面と前記被検面の設計形状の近似球面との間の非球面量に設定されることを特徴とする請求項3記載の非球面形状測定方法。

【請求項5】 前記基準面の形状は、球面に設定されることを特徴とする請求項3記載の非球面形状測定方法。

【請求項6】 前記フィゾー面の非球面形状および前記基準面の形状は、前記被検面に対して得られる干渉縞の縞間隔と前記基準面に対して得られる干渉縞の縞間隔とが、何れも前記検出器上で2画素分以上となるよう設定されていることを特徴とする請求項1乃至請求項5の何れか1項に記載の非球面形状測定方法。

【請求項7】 設計形状が非球面である被検面からの反射光と既知形状のフィゾー面からの反射光とが成す干渉縞を検出器にて検出し、検出した干渉縞と前記フィゾー面の形状とに基づいて、前記被検面の形状を求める非球面形状測定方法において、前記フィゾー面は非球面フィゾー面であり、前記被検面の設計形状に対して得られる干渉縞の縞間隔が、球面フィゾー面を使用した場合に前記被検面に対して得られる干渉縞の縞間隔よりも大きくなるように、前記非球面フィゾー面が設定されることを特徴とする非球面形状測定方法。

【請求項8】 前記フィゾー面の非球面量は、前記被検面の設計形状とその近似球面との間の非球面量に設定されることを特徴とする請求項7記載の非球面形状測定方法。

【請求項9】 前記フィゾー面の形状は、前記被検面に

対して得られる干渉縞の縞間隔が、前記検出器上の2画素分以上となるよう設定されていることを特徴とする請求項7又は請求項8に記載の非球面形状測定方法。

【請求項10】 フィゾー面と、光源から出射された光束を所定波面に変換してそのフィゾー面と設計形状が非球面の被検面との双方に導く波面変換手段と、双方の面における反射光が成す干渉縞を検出する検出器とを備えた非球面形状測定装置であって、前記フィゾー面は、請求項1乃至請求項9の何れか1項に記載の非球面形状測定方法において設定される形状であることを特徴とする非球面形状測定装置。

【請求項11】 原板に描かれたパターンを基板上に露光する投影光学系において、前記投影光学系に使用される光学部材の面が、請求項1乃至請求項9の何れか1項に記載の非球面形状測定方法により計測された被検面であり、計測された結果に基づき、前記光学部材の面が所定の精度内に研磨されたことを特徴とする投影光学系。

【請求項12】 投影光学系を介して、原板に描かれたパターンを基板上に露光する露光方法において、前記投影光学系に使用される光学部材の面が、請求項1乃至請求項9の何れか1項に記載の非球面形状測定方法により計測された被検面であり、計測された結果に基づき、前記光学部材が所定の精度内に研磨されたことを特徴とする露光方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、レンズ、ミラーなどの光学素子等に使用される非球面の面形状を高精度に測定するための非球面形状測定方法、非球面形状測定装置に関する。また、非球面を有した光学素子が使用された投影光学系、露光方法に関する。

【0002】

【従来の技術】レンズやミラー等の光学素子の加工に当たっては、その表面の作製誤差を測定する面形状測定が必須となる。これら光学素子のうち、設計形状が球面である面（以下、「被検球面」という）の面形状計測については、一般に球面フィゾー干渉計が適用される。

【0003】ここで、球面フィゾー干渉計は、他の干渉計と同様、被検面からの光をフィゾー面からの反射光である参照光と干渉させ、これにより発生する干渉縞をCCD撮像素子などの検出器により検出するものである。球面フィゾー干渉計では、球面状のフィゾー面が使用されており、被検面の形状が球面からずれている場合には、そのずれに応じたパターンの干渉縞が検出される。したがって、上記被検球面の形状を、球面からのずれ（以下、「非球面量」という）として測定することができる。

【0004】一方、光学素子のうち、設計形状が非球面である面（以下、「被検非球面」という）の面形状測定

についても、多くの場合この球面フィゾー干渉計がそのまま適用される。この場合は、被検非球面の形状を、その近似球面を基準とした非球面量として測定することができる。

【0005】ところで、球面フィゾー干渉計では、被検面の非球面量が許容範囲を超えると測定精度が悪化する。これは、被検面の非球面量が大きくなるほど上記干渉縞の縞密度は高くなり、仮にその縞間隔が上記検出器の分解能よりも狭まると、正確な検出ができなくなるからである。但し、上記被検球面については、設計形状が球面とされているので、その作製誤差が著しく大きくない限りはその非球面量が許容範囲内に収まり、十分な精度で測定される。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】しかし、上記被検非球面については、設計形状が非球面とされているために、たとえその作製誤差が小さくとも、設計形状（較差なく作製された形状）の非球面量（以下、「設計非球面量」という）が許容範囲を超えている限りは、測定精度の悪化が避けられず、事実上測定が不可能となる。

【0007】因みに、実際の被検非球面は、径位置により異なる曲率半径を有した曲面であって、その場合に発生する干渉縞の縞密度は位置により異なるので、一般に測定不可能となるのは、干渉縞のうち特に過密となった位置に対応する面形状についてである。本発明は、非球面の測定を高精度化させることによって、設計非球面量が球面フィゾー干渉計の許容範囲を超えているような非球面（大非球面）の測定を可能とする非球面形状測定方法、非球面形状測定装置を提供することを目的とする。また、非球面を有した光学素子が使用された投影光学系、露光方法を、高精度化させることを目的とする。

【0008】

【課題を解決するための手段】請求項1乃至請求項6の何れか1項に記載の非球面形状測定方法は、検出器により、設計形状が非球面である被検面（被検非球面）からの反射光とフィゾー面からの反射光とが成す干渉縞を検出器にて検出するとともに、その被検面に代えて配置された既知形状の基準面からの反射光と前記フィゾー面からの反射光とが成す干渉縞を検出し、検出した二つの干渉縞と前記基準面の形状とに基づいて、前記被検面の形状を求めるものである。

【0009】そして、この非球面形状測定方法では、前記フィゾー面は非球面フィゾー面である。また、被検面の設計形状に対して得られる干渉縞の縞間隔と前記基準面に対して得られる干渉縞の縞間隔とが、何れも球面フィゾー面を使用した場合に前記被検面に対して得られる干渉縞の縞間隔よりも大きくなるように、少なくとも前記非球面フィゾー面又は前記基準面の形状が設定される。

【0010】また、請求項2乃至請求項6の何れか1項

に記載の非球面形状測定方法では、前記フィゾー面の非球面量が、前記被検面の設計形状とその近似球面との間の非球面量に設定されている。このとき、被検面について得られる干渉縞は、被検面とフィゾー面との非球面量差に応じた密度になる。この密度は、球面フィゾー干渉計と同じ被検面について得る干渉縞の密度、すなわち被検面と球面との非球面量差に応じた密度と比較して、粗となる。したがって、被検面に対して得られる干渉縞の縞間隔を、確実に大きくすることができる。

【0011】また、請求項3乃至請求項6の何れか1項に記載の非球面形状測定方法では、基準面の非球面量が、前記被検面の設計非球面量よりも小さく設定される。また、請求項4又は請求項6に記載の非球面形状測定方法では、前記基準面の非球面量が、前記非球面フィゾー面と前記被検面の設計形状の近似球面との間の非球面量に設定される。また、請求項5又は請求項6に記載の非球面形状測定方法では、前記基準面の形状が、球面に設定される。

【0012】このように非球面量の小さい基準面を予め作製し、かつ面形状測定することは、被検面の設計形状と同じ非球面量を有した基準面を作製し、かつ面形状測定する場合よりも、その非球面量が小さい分だけ容易である。すなわち、これらの非球面形状測定方法では、基準面として、高精度に測定された基準原器を用意することができる。特に、基準面の形状が球面である場合には、既存の干渉計、例えば球面フィゾー干渉計やPoint-Diffraction-Interferometerのような球面測定用の干渉計によって、基準面の形状を極めて高精度に測定することができる。したがって、最終的には被検面の面形状も、高精度に得られる。

【0013】また、請求項6に記載の非球面形状測定方法では、前記フィゾー面の非球面形状および前記基準面の形状は、前記被検面に対して得られる干渉縞の縞間隔と前記基準面に対して得られる干渉縞の縞間隔とが、何れも前記検出器上で2画素分以上となるよう設定されている。このように、干渉縞の最小縞間隔 d を、検出器の画素ピッチ P の2倍より大きく（ $2P < d$ ）すれば、検出器の各画素が縞の有無を確実に検知できるので、干渉縞の検出確度は向上する。

【0014】また、請求項7乃至請求項9の何れか1項に記載の非球面形状測定方法は、設計形状が非球面である被検面（被検非球面）からの反射光と既知形状のフィゾー面からの反射光とが成す干渉縞を検出器にて検出し、検出した干渉縞と前記フィゾー面の形状とに基づいて、前記被検面の形状を求めるものである。そして、この非球面形状測定方法では、前記フィゾー面は非球面フィゾー面である。また、前記被検面の設計形状に対して得られる干渉縞の縞間隔が、球面フィゾー面を使用した場合に前記被検面に対して得られる干渉縞の縞間隔よりも大きくなるように、前記非球面フィゾー面が設定され

る。

【0015】また、請求項8又は請求項9に記載の非球面形状測定方法では、前記フィゾー面の非球面量は、前記被検面の設計形状とその近似球面との間の非球面量に設定されている。このとき、被検面について得られる干渉縞は、被検面とフィゾー面との非球面量差に応じた密度になる。この密度は、球面フィゾー干渉計が同じ被検面について得る干渉縞の密度、すなわち被検面と球面との非球面量差に応じた密度と比較して、粗となる。したがって、被検面に対して得られる干渉縞の間隔を確実に大きくすることができる。

【0016】請求項9に記載の非球面形状測定方法では、前記フィゾー面の形状は、前記被検面に対して得られる干渉縞の縞間隔が、前記検出器上の2画素分以上となるよう設定されている。このように、干渉縞の最小縞間隔 d を、検出器の画素ピッチ P の2倍より大きく($2P < d$)すれば、検出器の各画素が縞の有無を検知できるので、干渉縞の検出確度は向上する。

【0017】請求項10に記載の非球面形状測定装置は、フィゾー面と、光源から出射された光束を所定波面に変換してそのフィゾー面と設計形状が非球面の被検面との双方に導く波面変換手段と、双方の面における反射光が成す干渉縞を検出する検出器とを備えた非球面形状測定装置であって、前記フィゾー面は、請求項1乃至請求項9の何れか1項に記載の非球面形状測定方法において設定される形状である。この非球面形状測定装置によれば、上記した各非球面形状測定方法を確実に施することができる。

【0018】なお、基準面として非球面を使用する場合には、上記した発明そのものをその基準面の形状測定に適用して、基準面の形状を高精度化させることもできる。請求項11に記載の投影光学系は、原板に描かれたパターンを基板上に露光する投影光学系において、前記投影光学系に使用される光学部材の面が、請求項1乃至請求項9の何れか1項に記載の非球面形状測定方法により計測された被検面であり、計測された結果に基づき、前記光学部材の面が所定の精度内に研磨されている。

【0019】この投影光学系には、高精度に研磨された光学部材が使われるので、原板のパターンが基板に的確に露光される。請求項12に記載の露光方法は、投影光学系を介して、原板に描かれたパターンを基板上に露光する露光方法において、前記投影光学系に使用される光学部材の面が、請求項1乃至請求項9の何れか1項に記載の非球面形状測定方法により計測された被検面であり、計測された結果に基づき、前記光学部材が所定の精度内に研磨される。

【0020】この露光方法では、高精度に研磨された光学部材を使った投影光学系が使用されるので、原板のパターンが基板に的確に露光される。

【0021】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態を図面を用いて説明する。

【0022】〔第1実施形態〕先ず、本発明の第1実施形態を図1、図2、図3を用いて説明する。本実施形態では、被検物17の被検非球面17'の面形状測定を行うに当たり、非球面形状測定装置10と、既知形状の基準面18'を有した基準原器18とが用意される。

【0023】＜非球面形状測定装置の構成＞図1に示すように、本実施形態で使用される非球面形状測定装置10は、レーザ光源11、ビームエキスパンダ12、偏向ビームスプリッタ(PBS)13、1/4波長板14、波面変換手段15、非球面フィゾー面15'、被検位置(図1中点線)において被検物17や基準原器18を支持する部材(不図示)、ビーム径変換光学系19、CCD撮像素子などの2次元画像検出器110などを備え、コンピュータなどの演算装置111、モニタなどの表示装置112に接続される。ちなみに従来の球面フィゾー干渉計は、これらの光学系のうち、非球面フィゾー面に代えて球面フィゾー面を備えたものに等しい。

【0024】非球面形状測定装置10において、レーザ光源11を射出した直線偏光ビームLは、ビームエキスパンダ12でビーム径が拡大され、PBS13に入射する。ビームLは、その偏光面がPBS13で反射されるように選ばれており、PBS13で反射された後、1/4波長板14を経て波面変換手段15、非球面フィゾー面15'へ入射する。

【0025】この波面変換手段15は、入射した光束の波面を、非球面フィゾー面15'および被検位置に配置された被検物17の被検非球面17'(又は被検位置に配置された基準原器18の基準面18')に、概ね垂直に同位相で入射する波面に変換するよう設計されている。この波面変換手段15に入射した光束は、一部がフィゾー面15'にて反射して参照用光束LRとなり、他の一部が非球面フィゾー面15'を透過して所定の非球面波である測定用光束LMとなる。

【0026】測定用光束LMは、被検位置に配置された被検物17の被検非球面17'(又は被検位置に配置された基準原器18の基準面18')に入射する。これらの面で反射した測定用光束LMは、非球面フィゾー面15'、波面変換手段15、1/4波長板14を経てPBS13へ入射する。測定用光束LMは、往復で1/4波長板を2度通過して偏光面が90度回転した状態でPBS13を透過する。PBS13を透過した測定用光束LMは、ビーム径変換光学系19でビーム径が変換され、2次元画像検出器110に入射する。

【0027】一方、非球面フィゾー面15'で反射した参照用光束LRは、波面変換手段15、1/4波長板14を経て、PBS13を透過し、ビーム径変換光学系19を介して2次元画像検出器110に入射する。この参照用光束LRは、前記した測定用光束LMと干渉し、そ

の2次元画像検出器110上に干渉縞を成す。2次元画像検出器110の出力は、演算装置111に取り込まれて解析される。この演算装置111では、位相分布（ここでは、測定用光束LMと参照用光束LRとの位相差の分布を「位相分布」という。）の算出や、面形状の算出が行われる。

【0028】以上の構成では、被検位置と非球面フィゾー一面15'とが近接して配置されるので、振動や温度変化などが波面形状に与える影響を、測定用光束LMと参照用光束LRとの両者に対してほぼ同じにすることができるので、測定結果に生じる誤差が小さい。なお、上記した非球面形状測定装置10には、波面変換手段15とフィゾー一面15'とをピエゾ素子等で光軸方向に微小移動させる手段が備えられていてもよい。この移動と、演算装置111内の位相シフト干渉法等の演算（周知）とによって、位相分布の算出精度はより高められる。また、ビーム径変換光学系19は、被検非球面17'や基準面18'の像を2次元画像検出器110に結像する役割も兼ねており、被検非球面17'の形状を正確に知るために、ディストーションを抑えた設計にしている。ディストーションの設計値や実測値を用いて、干渉縞の横座標を補正することによって、被検非球面17'上の座標と2次元画像検出器110上での座標を正確に関係付けすることもできる。

【0029】また、上記波面変換手段15としては、入射した光束の波面を非球面フィゾー一面15'に概ね垂直に同位相で入射する波面に変換するよう設計されているのであれば、例えば、球面および平面からなるレンズで構成されたもの、ミラーで構成されたもの、球面および平面ミラーを含むもの、非球面レンズを含むもの、非球面ミラーを含むもの、透過型回折光学素子を含むもの、反射型回折光学素子を含むものなどの何れを使用してもよい。

【0030】また、基準原器18と被検物17とは同じ被検位置に配置される必要はなく、両者の位置の相違が既知であれば、互いに異なる位置としてもよい。但し、その場合には、両者の位置の相違が予め計測されているか、又は適宜計測されることとする。

<面形状測定手順>以下、本実施形態の面形状測定手順を説明する。

【0031】始めに、非球面形状測定装置10の被検位置に基準原器18を配置して、基準面18'の位相分布W0を得る。次に、この基準原器18を光路から外すと共に、被検位置に被検物17を配置して、被検非球面17'の位相分布W1を得る。

【0032】次に、被検非球面17'の位相分布W1と、基準面18'の位相分布W0との差から、基準面18'を基準とした被検非球面17'の形状差 $\Delta w1$ を求める。さらに、被検非球面17'の形状差 $\Delta w1$ に、基準面18'の形状 $w0$ （既知）を加え、被検非球面1

7'の形状 $w1$ を算出する。なお、この面形状測定手順において、基準原器18の位相分布W0の取得と、被検非球面17'の位相分布W1の取得との順序は、入れ替わってもよい。また、基準面18'の位相分布W0と基準面18'の形状 $w0$ （既知）とを元に、非球面フィゾー一面15'の面形状W4を算出し、その面形状W4と被検非球面17'の位相分布W1とを元にして、被検非球面17'の形状 $w1$ を算出してもよい。

【0033】また、上記非球面形状測定装置10が、被検物17と基準原器18とを異なる位置に配置させるような構成である場合には、上記手順に、被検物17と基準原器18との間の配置位置の相違による、被検非球面17'と基準面18'への入射波面形状との違いを予め計算で求めて、位相分布等の上記測定結果を適宜補正する手順が加えられる。

【0034】<各面の設計>図2は、本実施形態の基準面18'の非球面量F2、非球面フィゾー一面15'の非球面量F3を、被検非球面17'の設計非球面量F1と比較する図である。なお、図2では、比較を容易にするために、各面の非球面量F1、F2、F3の基準を、同一の近似球面S（被検非球面17'の設計形状の近似球面）に統一した。また、図2において非球面フィゾー一面15'の非球面量として示したF3は、正確にいうと、

「等価フィゾー一面の非球面量」である（等価フィゾー一面とは、非球面フィゾー一面15'の各位置からそのフィゾー一面の法線方向に互いに同位相で直進した各光線が、被検位置において成す波面である。この等価フィゾー一面はまた、非球面フィゾー一面15'の各位置からそのフィゾー一面の法線方向に被検位置にまで互いに等距離だけ延ばした各線分の端部を結んでできる面でもある。）。

【0035】図2に明らかなように、本実施形態では、非球面フィゾー一面15'の非球面量F3を、被検非球面17'の設計形状とその近似球面S（非球面量0）との間の値に設定している。ここで、一般に、干渉計が被検面について得る干渉縞は、その被検面と参照面との非球面量差に応じた密度となる。すなわち、非球面量差が大きいほど、干渉縞は密となる。

【0036】したがって、従来の球面フィゾー干渉計が被検非球面17'について得る干渉縞は、被検非球面17'と球面との非球面量差（概ね $\Delta F0$ ）に応じた密度、すなわち比較的高い密度となる。それに対し、本実施形態の非球面形状測定装置10（図1）が被検非球面17'について得る干渉縞は、被検非球面17'と非球面フィゾー一面15'との非球面量差（概ね $\Delta F1$ ）に応じた密度、すなわち比較的低い密度になる。

【0037】このようにして干渉縞の密度を下げれば、図3に示すようにその干渉縞の最小縞間隔dを、2次元画像検出器110の画素ピッチPの2倍より大きく（ $2P < d$ ）、好ましくは4倍より大きく（ $4P < d$ ）、さらに好ましくは8倍より大きく（ $8P < d$ ）広げること

もできる。その結果、干渉縞の検出確度が向上する。したがって、被検非球面17'の位相分布W1は、従来の球面フィゾー干渉計を使用した場合と比較して精度高く得られる。

【0038】また、図2に明らかなように、本実施形態では、基準面18'の非球面量F2を、被検非球面17'と比較して積極的に小さく設定している。このように非球面量の小さい基準面18'を予め作製し、かつ面形状測定することは、被検非球面17'の設計形状と同じ基準面を作製し、かつ面形状測定する場合よりも、その非球面量が小さい分だけ容易である。

【0039】したがって、本実施形態では、基準原器18として、高精度に測定された基準原器を用意することができる。因みに、図2に示す例では、基準面18'の非球面量F2を、非球面フィゾー面15'の非球面量F3よりもさらに小さく設計することで、基準面18'をより高精度化している。

【0040】また、この図2に示す例では、基準面18'の非球面量F2は、この基準面18'と非球面フィゾー面15'との非球面量差(概ね $\Delta F2$)が、被検非球面17'と非球面フィゾー面15'との非球面量差(概ね $\Delta F1$)とほぼ等しくなるよう選択されている。この場合、被検非球面17'について得られる干渉縞と基準面18'について得られる干渉縞とが、互いに明暗が反対で概ね等輝度のパターンを描く。

【0041】このように基準面18'を設計すれば、基準面18'について得られる干渉縞の密度を、被検非球面17'について得られる干渉縞と同様に「粗」(図3に示すように、 $2P < d$ 、好ましくは $4P < d$ 、さらに好ましくは $8P < d$)とすることができる。したがって、基準面18'の位相分布W0は、被検非球面17'の位相分布W1と同様、精度高く得られる。

【0042】すなわち、本実施形態では、面形状測定手順における基準面18'の位相分布W0、被検非球面17'の位相分布W1は高精度に得られ、ひいては、被検非球面17'の形状w1が高精度に算出される。また、本実施形態において、特に、被検非球面17'の非球面量が比較的小さい場合には、基準原器18に代えて球面原器(球面の基準面を有した原器)を使用することも可能である。その場合には、既存の干渉計、例えば球面フィゾー干渉計やPoint-Diffraction-Interferometerのような球面測定用の干渉計によって、基準面の形状を極めて高精度に測定することができる。

【0043】したがって、最終的に得られる被検非球面17'の面形状w1も、高精度に得られる。以上まとめると、本実施形態によれば、非球面の測定を高精度化することによって、大非球面の測定が可能となった。

<その他>なお、上記実施形態では、図2に示すように、基準面18'の非球面量F2が、非球面フィゾー面15'の非球面量F3よりも小さく設計されているが、

干渉縞の密度を十分に粗(図3に示すように、 $2P < d$ 、好ましくは $4P < d$ 、さらに好ましくは $8P < d$)とすることができ、かつその面形状が予め十分な精度で測定されているのであれば、その非球面量F3よりも大きく設計してもよい。

【0044】また、上記実施形態では、図2に示すように、基準面18'の非球面量F2は、基準面18'と非球面フィゾー面15'との非球面量差(概ね $\Delta F2$)が、被検非球面17'と非球面フィゾー面15'との非球面量差(概ね $\Delta F1$)と、ほぼ等しくなるよう選択されているが、干渉縞の密度を十分に粗とする(図3に示すように、 $2P < d$ 、好ましくは $8P < d$ とする)ことができるのであれば、異なる値に選択されていてもよい。

【0045】また、上記非球面測定装置10の構成としては、複数種の基準原器、複数種の非球面フィゾー面、複数種の波面変換手段を備え、かつその中から所定の関係(例えば図2に示す関係)を満たすような組み合わせを自動的に選択して設定する手段を備えた構成としてもよい。

【第2実施形態】次に、本発明の第2実施形態を図4、図5、図6を用いて説明する。

【0046】ここでは、第1実施形態との相違についてのみ説明する。また、図4において、図1に示すものと同じものについては同一の符号を付して示した。図4に示すように、本実施形態における被検物27の被検非球面27'の面形状測定では、被検非球面27'を、図5に示すような2つの領域Da、Dbに分割して考え、これら各領域Da、Dbについて個別に面形状測定が行われる。このように被検非球面27'を分割して測定するのは、各測定の対象をなるべく非球面量の小さな面として、その測定精度を高めるためである。

【0047】なお、図5において、領域Daは、被検非球面27'の径方向位置rについて $0 \leq r \leq r_{a2}$ が成立するような円状の領域であり、領域Dbは、被検非球面27'の径方向位置rについて $r_{b1} \leq r \leq r_{b2}$ が成立するような輪帯状の領域である。各値 r_{a2} 、 r_{b1} 、 r_{b2} の関係は、 $0 \leq r_{b1} \leq r_{a2} \leq r_{b2}$ となっているので、領域Da、Dbは互いに重複する領域をもつこととなるが、これは、重複する領域の測定結果をもとに、後述する手順において生じる被検物27の姿勢差による影響を除去するためである。

【0048】<非球面形状測定装置の構成>このような本実施形態では、図4に示すように、基準原器として、領域Daの面形状測定で使用される基準面28a'(基準原器28a)と、領域Dbの面形状測定で使用される基準面28b'(基準原器28b)との2つが用意される。また、本実施形態の非球面形状測定装置20には、領域Daの面形状測定で使用される非球面フィゾー面25a'と、領域Dbの面形状測定で使用される非球面フ

ィゾー面 25b' とが備えられる。なお、この非球面形状測定装置 20 では、非球面フィゾー面 25a' の使用時には、この非球面フィゾー面 25a' に概ね垂直で同位相で入射する波面を形成するよう設計された波面変換手段 25a が適用され、一方、非球面フィゾー面 25b' の使用時には、この非球面フィゾー面 25b' に概ね垂直で同位相で入射する波面を形成するよう設計された波面変換手段 25b が適用される。

【0049】<面形状測定手順> 先ず、被検非球面 27' の領域 Da を測定するに当たっては、非球面形状測定装置 20 に非球面フィゾー面 25a' と波面変換手段 25a とを配置した状態で、被検位置に、被検物 27、基準原器 28a を順に配置して、領域 Da の位相分布 W1a と基準面 28a' の位相分布 W0a とを取得する。そして、位相分布 W1a、W0a と基準面 28a' の形状（既知）とから、領域 Da の形状 w1a が算出される。

【0050】また、被検非球面 27' の領域 Db を測定するに当たっては、非球面形状測定装置 20 に非球面フィゾー面 25b' と波面変換手段 25b とを配置した状態で、被検位置に、被検物 27、基準原器 28a を順に配置して、領域 Db の位相分布 W1b と基準面 28b' の位相分布 W0b とを取得する。そして、位相分布 W1b、W0b と基準面 28b' の形状（既知）とから、領域 Db の形状 w1b が算出される。

【0051】さらに、領域 Da の形状 w1a と領域 Db の形状 w1b とから、重複領域（図 5r について $r_{b1} \leq r \leq r_{a2}$ が成立する領域）について得た位相分布又は面形状をもとに、被検物 27 の姿勢差による影響を除去する。これによって、被検非球面 27' の全体の形状 w1 が求められる。なお、この面形状測定手順において、領域 Da、Db、基準面 28a、28b の位相分布の取得の順序は、上記の順序でなくてもよい。

【0052】<各面の設計> 図 6 は、本実施形態の基準面 28a' の非球面量 F2a、基準面 28b' の非球面量 F2b、非球面フィゾー面 25a' の非球面量 F3a、非球面フィゾー面 25b' の非球面量 F3b を、領域 Da の設計非球面量 F1a、領域 Db の設計非球面量 F1b と比較する図である。

【0053】なお、図 6 では、比較を容易にするために、非球面量 F1a、F2a、F3a の基準を、同一の近似球面 Sa（領域 Da の設計形状の近似球面）に統一した。また、各非球面量 F1b、F2b、F3b の基準を、同一の近似球面 Sb（領域 Db の設計形状の近似球面）に統一した。因みに、F4 は、被検非球面 27' の設計非球面量を、その被検非球面 27' 全面の近似非球面 S を基準として示したものである。

【0054】また、図 6 において非球面フィゾー 25a'、25b' の非球面量として示した F3a、F3b は、正確にいうと、「等価フィゾー面の非球面量」であ

る（等価フィゾー面とは、非球面フィゾー面 25a'（又は 25b'）の各位置からそのフィゾー面の法線方向に互いに同位相で直進した各光線が、被検位置において成す波面である。この等価フィゾー面はまた、非球面フィゾー面 25a'（又は 25b'）の各位置からそのフィゾー面の法線方向に被検位置にまで互いに等距離だけ延ばした各線分の端部を結んでできる面でもある。）。

【0055】図 6 に明らかなように、本実施形態では、非球面フィゾー面 25a' の非球面量 F3a を、領域 Da の設計形状とその近似球面 Sa（非球面量 0）との間の値に設定し、非球面フィゾー面 25b' の非球面量 F3b を、領域 Db の設計形状とその近似球面 Sb（非球面量 0）との間の値に設定している。この設定によれば、被検非球面 27' の領域 Da、Db について得られる干渉縞を十分に「粗」（図 3 に示すように、 $2P < d$ 、好ましくは $4P < d$ 、さらに好ましくは $8P < d$ ）とすることができる。その結果、干渉縞の検出確度が向上する。

【0056】したがって、領域 Da、Db の位相分布 W1a、W1b は、従来の球面フィゾー干渉計を使用した場合と比較して精度高く得られる。また、図 6 に明らかなように、本実施形態では、基準面 28a' の非球面量 F2a を、被検非球面 27' の領域 Da と比較して積極的に小さく設定し、また、基準面 28b' の非球面量 F2b を、被検非球面の領域 Db と比較して積極的に小さく設定している。

【0057】このように非球面量の小さい基準面 28a'、28b' を予め作製し、かつ面形状測定することは、領域 Da、Db の設計形状と同じ基準面を作製し、かつ面形状測定する場合よりも、その非球面量が小さい分だけ容易である。

【0058】このように非球面量の小さい基準面 28a'、28b' を予め作製し、かつ面形状測定することは、領域 Da、Db の設計形状と同じ基準面を作製し、かつ面形状測定する場合よりも、その非球面量が小さい分だけ容易である。

【0059】また、この図 6 に示す例では、基準面 28a' の非球面量 F2a は、この基準面 28a' と非球面フィゾー面 25a' との非球面量差が、領域 Da と非球面フィゾー面 25a' との非球面量差とほぼ等しくなるよう選択され、一方、基準面 28b' の非球面量 F2b は、この基準面 28b' と非球面フィゾー面 25b' との非球面量差が、領域 Db と非球面フィゾー面 25b' との非球面量差とほぼ等しくなるよう選択されている。この場合、領域 Da について得られる干渉縞と基準面 28a' について得られる干渉縞とが、互いに明暗が反対

で概ね等輝度のパターンを描き、一方、領域D bについて得られる干渉縞と、基準面2 8 b' について得られる干渉縞とが、互いに明暗が反対で概ね等輝度のパターンを描く。

【0060】このように基準面2 8 a'、2 8 b' を設計すれば、それら基準面2 8 a'、2 8 b' について得られる干渉縞の密度を、何れも領域D a、D bについて得られる干渉縞と同様に「粗」（図3に示すように、 $2P < d$ 、好ましくは $4P < d$ 、さらに好ましくは $8P < d$ ）とすることができる。したがって、基準面2 8 a'、2 8 b' の位相分布W0 a、W0 bは、領域D a、D bの位相分布W1 a、W1 bと同様、精度高く得られる。

【0061】すなわち、本実施形態では、面形状測定手順における基準面2 8 a'、2 8 b' の位相分布W0 a、W0 b、領域D a、D bの位相分布W1 a、W1 bは高精度に得られ、ひいては、被検非球面2 7' の形状w1が高精度に算出される。また、本実施形態において、特に、被検非球面2 7' の各領域D a、D bの非球面量が比較的小さい場合には、基準原器2 8 a、2 8 bに代えて球面原器を使用することも可能である。その場合には、既存の干渉計、例えば球面フィゾー干渉計やPoint-Diffraction-Interferometerのような球面測定用の干渉計によって、基準面の形状を極めて高精度に測定することができる。

【0062】したがって、最終的に得られる被検非球面2 7' の面形状w1も高精度に得られる。以上まとめると、本実施形態によれば、非球面の測定が高精度化され、大非球面の測定も可能となる。

<その他>なお、上記実施形態では、非球面フィゾー面と基準原器とを、領域の分割数2に応じて2組用意しているが、1組の非球面フィゾー面と基準原器とを、2つの領域の測定に共用してもよい。なお、その場合は、測定の対象とする領域に応じて、被検非球面、基準原器および波面変換手段の光軸上の位置関係を代えればよい。

【0063】また、本実施形態では、被検非球面の領域数を2としたが、被検非球面の非球面量が大きい場合は、各領域の非球面量が小さくなるようにこの領域数を増やしてもよい。また、上記したように、各実施形態で説明した非球面形状測定装置10、非球面形状測定装置20は、測定対象とする被検非球面の形状によって、非球面フィゾー面の形状（およびそれに対応する波面変換手段の内容）が異なってくる。したがって、非球面形状測定装置10、非球面形状測定装置20が予め決められた形状の非球面フィゾー面を有している場合には、その非球面フィゾー面の形状によって、測定可能な被検非球面の形状がある程度限定されてくる。この場合、これら装置の外ケースなどに、その装置がどの程度の非球面を測定対象としているのかをユーザに知らせるよう予め表記しておくともよい。

【0064】また、上記各実施形態においては、予め、基準原器、非球面フィゾー面、その非球面フィゾー面に対応する波面変換手段、からなる組み合わせを複数種用意しておき、さらに、測定の対象とする被検非球面の形状に応じて、前記した関係（例えば図6に示す関係）を満たすような組み合わせを自動的に決定する装置（例えばコンピュータ）を併用してもよい。

【0065】また、上記各実施形態において、基準面として非球面を使用する場合、上記各実施形態の何れか一方をその基準面の形状測定に適用してもよい。このようにすれば、結果として非球面量のより大きな非球面の形状測定が可能になる。

【適用例】次に、本発明の適用例について説明する。

【0066】上記説明した第1実施形態や、第2実施形態によれば、非球面ミラーや非球面レンズなどの被検物を高精度に測定することができる。このような測定によって被検物の形状精度が十分でないことが分かった場合には、その形状誤差が圧縮されるようにその被検物を研磨して、所定の精度内に追いついていくことができる。こうして高精度に作製された非球面ミラーや非球面レンズは、各種の装置に適用することが可能となる。

【0067】例えば、高精度に製造されたミラーおよびレンズを必要とする各種装置としては、軟X線（波長5～15 nm : Extreme Ultra Violet）露光装置用の投影光学系や、X線露光装置用の投影光学系がある。ここで、WO99/26728号（PCT出願公開明細書）などで開示される軟X線露光装置用の投影光学系70について図7を用いて詳細に説明する。この図7に示されるように、光源からの光束ELは、ミラーMで反射され、レチクルステージRST上のレチクルRに照射される。レチクルRで反射された光束は、投影光学系70を介してウエハステージWST上のウエハW上に照射される。レチクルRに描かれた半導体回路パターンをウエハW上に露光して半導体回路（チップ）を作成するためには、レチクルRおよびウエハWが図中の矢印で示される方向へ同期して走査される。

【0068】投影光学系70は、レチクルRで反射されたEUV光ELを順次反射する第1ミラーM1、第2ミラーM2、第3ミラーM3、第4ミラーM4の合計4枚のミラー（反射光学素子）と、これらのミラーM1～M4を保持する鏡筒PPとから構成されている。前記第1ミラーM1および第4ミラーM4の反射面は非球面の形状を有し、第2ミラーM2の反射面は平面であり、第3ミラーM3の反射面は球面形状となっている。各反射面は設計値に対して露光波長の約50分の1から60分の1以下の加工精度が実現され、RMS値（標準偏差）で0.2 nmから0.3 nm以下の誤差しかない。本適用例では、設計形状が非球面であるこれら第1ミラーM1および第4ミラーM4が、この誤差内に加工されているかを検査するために、上記した第1実施形態や第2実施

形態が適用されるのである。

【0069】なお、各ミラーの素材は低膨張ガラスあるいは金属であって、表面にはレチクルRと同様の2種類の物質を交互に重ねた多層膜によりEUV光に対する反射層が形成されている。この場合、図7に示されるように、第1ミラーM1で反射された光が第2ミラーM2に到達できるように、第4ミラーM4には穴が空けられている。同様に第4ミラーM4で反射された光がウェハWに到達できるよう第1ミラーM1には穴が設けられている。勿論、穴を空けるのではなく、ミラーの外形を光束が通過可能な切り欠きを有する形状としても良い。

【0070】また、投影光学系70が置かれている環境は真空であるため、露光用照明光の照射による熱の逃げ場がない。このため、ミラーM1～M4と当該ミラーM1～M4を保持する鏡筒PPの間をヒートパイプHPで連結するとともに、鏡筒PPを冷却する冷却装置を設けている。すなわち、鏡筒PPを内側のミラー保持部71と、その外周部に装着された冷却装置としての冷却ジャケット72との2重構造とし、冷却ジャケット72の内部には、冷却液を流入チューブ74側から流出チューブ76側に流すための螺旋状のパイプ78が設けられている。冷却ジャケット72から流出チューブ76を介して流出した冷却水は、不図示の冷凍装置内で冷媒との間で熱交換を行い、所定温度まで冷却された後、流入チューブ74を介して冷却ジャケット72内に流入するようになっており、このようにして冷却水が循環されるようになっている。

【0071】また、投影光学系70では、露光用照明光(EUV光)ELの照射によりミラーM1、M2、M3、M4に熱エネルギーが与えられても、ヒートパイプHPにより一定温度に温度調整された鏡筒PPとの間で熱交換が行われて、ミラーM1、M2、M3、M4が一定温度に冷却されるようになっている。この場合において、図7に示されるように、ミラーM1、M2、M4等については、その裏面側のみでなく表面側(反射面側)の露光用照明光が照射されない部分にもヒートパイプHPが貼り付けられているので、裏面側のみを冷却する場合に比べてより効果的に前記各ミラーの冷却が行われる。かかる冷却温度と合致するように、温度管理することが好ましい。

【0072】なお、いうまでもないが、以上説明したように、極めて高精度が要求される第1ミラーM1、第4ミラーM4の面形状測定では、干渉縞の最小縞間隔d

(図3参照)が2次元画像検出器110の画素ピッチPの8倍より十分に大きくなるよう、非球面フィゾー面、基準原器の形状が選択される。

【0073】

【発明の効果】以上のように、本発明によれば、非球面の測定が高精度化され、大非球面の測定も可能となる。その結果、的確な露光転写を行うことも可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】第1実施形態を説明する図である。

【図2】基準面18'の非球面量F2、非球面フィゾー面15'の非球面量F3を、被検非球面17'の設計非球面量F1と比較する図である。

【図3】2次元画像検出器110の画素ピッチPと、干渉縞の最小縞間隔dとの関係を示す図である。

【図4】第2実施形態を説明する図である。

【図5】第2実施形態の被検非球面27の分割の仕方を説明する図である。

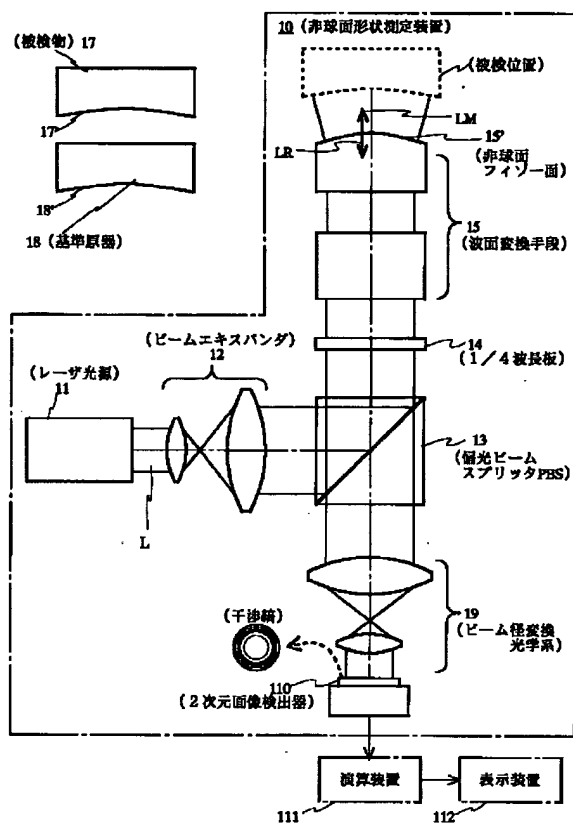
【図6】基準面28a'の非球面量F2a、基準面28b'の非球面量F2b、非球面フィゾー面25a'の非球面量F3a、非球面フィゾー面25b'の非球面量F3bを、領域Daの設計非球面量F1a、領域Dbの設計非球面量F1bと比較する図である。

【図7】本発明が適用される投影光学系70を示す図である。

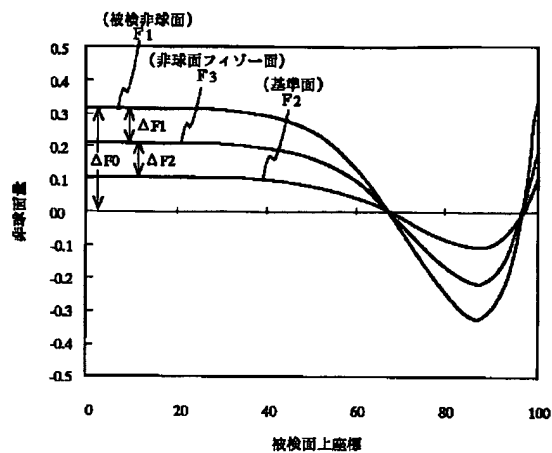
【符号の説明】

- 10、20 非球面形状測定装置
- 11 レーザ光源
- 12 ビームエキスパンダ
- 13 偏光ビームスプリッタ
- 14 1/4波長板
- 15 波面変換手段
- 15' 非球面フィゾー面
- 15、25a、25b 波面変換手段
- 17、27 被検物
- 17'、27' 被検非球面
- 18、28a、28b 基準原器
- 18'、28a'、28b' 基準面
- 19 ビーム径変換光学系
- 110 2次元画像検出器
- 111 演算装置
- 112 表示装置
- 70 投影光学系
- M1、M2、M3、M4 ミラー

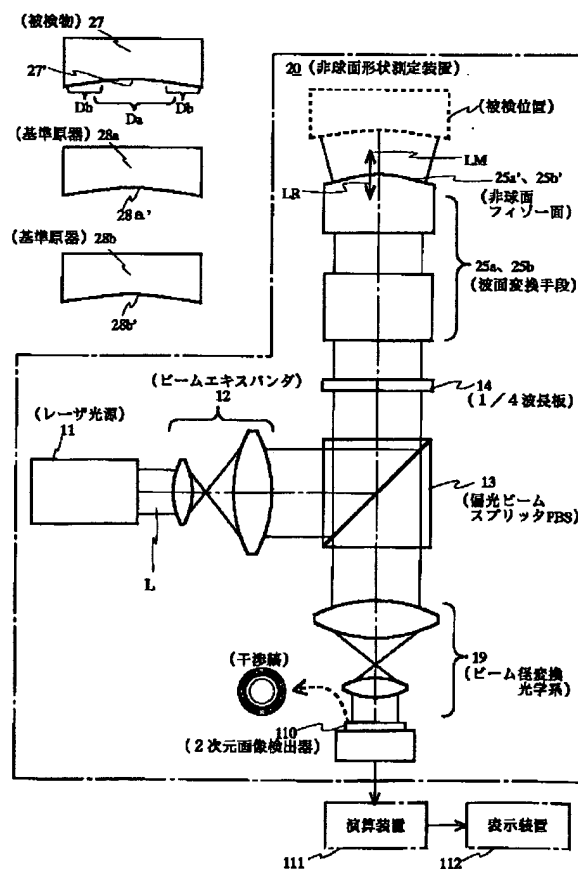
【図1】



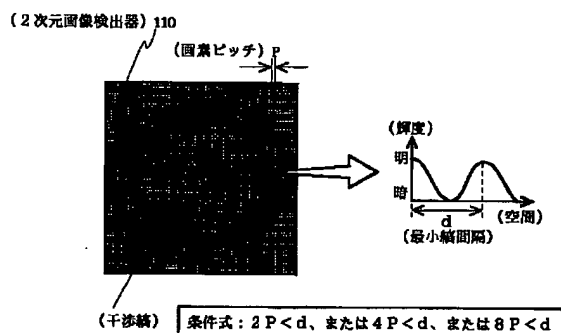
【図2】



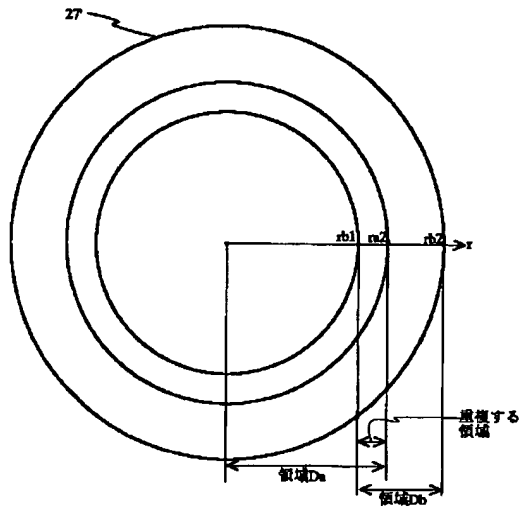
【図4】



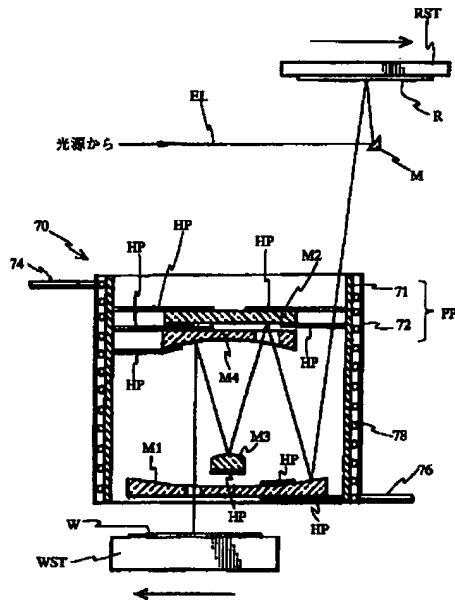
【図3】



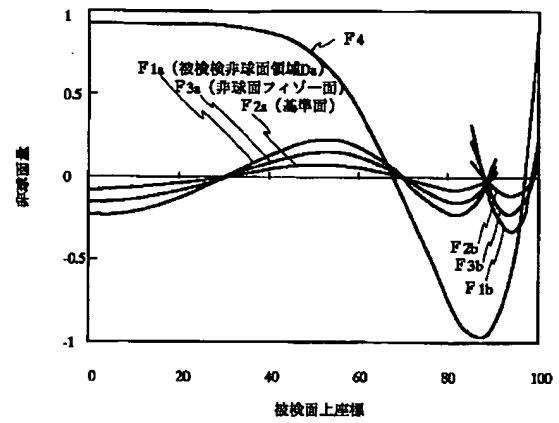
【図5】



【図7】



【図6】



フロントページの続き

(51)Int. Cl. 7

識別記号

F I
H 0 1 L 21/30

テーマコード (参考)
5 1 5 D

F ターム(参考) 2F064 AA09 BB04 BB05 CC04 DD02
DD05 EE05 FF01 GG23 GG38
GG47 GG51 GG70 HH03 HH08
JJ01
2F065 AA53 BB22 BB25 CC21 DD03
FF51 GG04 GG12 HH03 JJ03
JJ26 LL09 LL36 LL37 NN05
QQ21 QQ29 QQ32 SS13
2G086 FF01
5F046 BA03 CB03 CB12

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.